

KÉTFÁZISÚ ÁRAMLÁSOK TÍPUSAI SZILÁRD SZEMCSÉS ANYAGOK SZÁLLÍTÁSÁNÁL

ZANA JÁNOS*

1. BEVEZETÉS

A magyar élelmiszeriparban széleskörűen alkalmazzák anyagmozgatás céljára a légáramban történő szállítást. Malmaink működéséhez szervesen hozzátartozik a pneumatikus szállítóberendezés; a keveréktakarmány-ipar fluidizációs anyagmozgatást használ. Gabonátárolóinkban, rakodásnál, szellőztetésnél, vagonkirakásnál, hajók ürítésénél az áramló levegő energiáját hasznosítjuk. A cukoripar hidraulikus berendezéssel úsztatja a répát. Ezt a technikát konzervgyáraink is használják.

Két különböző halmazállapotú anyag együttes áramlása esetén változó áramlási kép jön létre attól függően, hogy milyen a hordozó közeg, milyen a szállított anyag, és milyen az egymáshoz viszonyított sebességük. A technológiai követelményektől függően előnyös lehet, ha az áramlás egyenletes, léktetésmentes, de bizonyos esetekben szükségessé válhat az áramlást periódikus, ütemes formában megvalósítani. Ez utóbbi jobb anyag- és hőátadási viszonyokat teremt a létrejövő erőteljes turbulencia segítségével.

2. IRODALMI ALAPOK

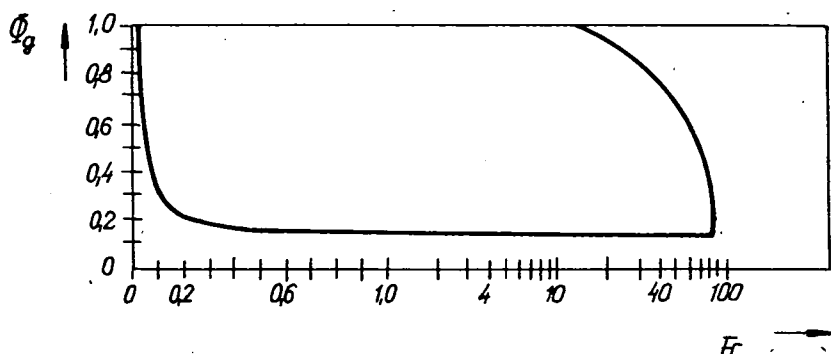
A kétfázisú áramlások tulajdonságait igen alaposan tárgyalja *Mucskai László*: Hőcsereleők termikus és hidraulikai méretezése c. könyve. Célja a forralókban, kondenzátorokban, kétfázisú reaktorokban lezajló folyamatok leírása.

A kétfázisú áramlás különböző halmazállapotú összetevők esetén jön létre:

1. gáz—folyadék 1.1. különböző anyagoknál,
1.2. egy anyag két halmazállapotnál,
2. gáz—szilárd 2.1. egyenletes szemcseméretű anyagnál
2.2. változó szemcseméretű anyagnál,
3. folyadék—folyadék (nem elegyedő folyadékok esetén),
4. folyadék—szilárd 4.1. eltérő sűrűségű anyagok áramlása,
4.2. közel azonos sűrűségű anyagok áramlása

Az áramlás lehet egyirányú vagy ellenirányú. Nagyobb jelentősége miatt főleg az egyirányú áramlással foglalkozunk. Tekintettel arra, hogy a legsokoldalúbb viszonyok gáz—folyadék áramlásnál léphetnek fel, ezek vizsgálata alakult ki az irodalomban.

* Műszerezés- és Szabályozástechnika Tanszék



1. ábra. A Griffith—Wallis diagram

A Griffith—Wallis diagramot függőlegesen fölfelé irányuló áramlás esetére dolgozták ki. (Griffith—Wallis: Trans. ASME.) Itt Fr a keverék Froude-száma:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot d}, \quad (1)$$

amelyet a keverék sebességéből számítunk:

$$v = \frac{\frac{\dot{m}_f}{\rho_f} + \frac{\dot{m}_g}{\rho_g}}{A} = \frac{\dot{V}_f + \dot{V}_g}{A}. \quad (2)$$

Itt \dot{m}_f a folyadék tömegárama, \dot{m}_g a gáz tömegárama, ρ a sűrűség. A diagram függőleges tengelyén a gázfázis, Φ_g térfogattörtjét tüntetjük fel:

$$\Phi_g = \frac{\frac{\dot{m}_g}{\rho_g}}{\frac{\dot{m}_f}{\rho_f} + \frac{\dot{m}_g}{\rho_g}} = \frac{\dot{V}_g}{\dot{V}_f + \dot{V}_g}, \quad (3)$$

ahol \dot{V} a térfogatáram.

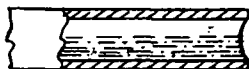
Kis Froude-számnál (kis sebesség, vagy nagy átmérő), illetve kis térfogattörtnél (kevés gáz) buborékos áramlás jön létre. Közepes értékeknél pangó áramlás, nagy értékeknél pedig körgyűrű keresztmetszetű, ködszerű vagy habszerű áramlás jön létre. Az áramlási kép jellegzetességeit a 2. ábra foglalja össze.

A vízszintes áramlások tulajdonságait a Baker-diagram segítségével írhatjuk le. Kasturi—Stepanek—Holland: A review of two-phase flow literature csupán röviden ismerteti, De Gance—Atheron: Chemical engineering aspects of two phase flow című cikksorozat részletesen is tárgyalja a Baker-diagramot. Tengelyein logaritmikus besoztással szerepel a B_X és B_Y paraméter. Ezek a következőképpen számíthatók ki:

$$B_X = 210 \cdot \frac{\dot{m}_f \text{ kg/h}}{\dot{m}_g \text{ kg/h}} \cdot \frac{\sqrt{\rho_f \text{ kg/m}^3 \cdot \rho_g \text{ kg/m}^3}}{\rho_f^{2/3} \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{\eta_{fcp}^{1/3}}{\sigma_f \text{ din/cm}}, \quad (4)$$

$$B_Y = 7 \cdot \frac{\dot{m}_g \text{ kg/h}}{A_{m^2} \cdot \sqrt{\rho_f \text{ kg/m}^3 \cdot \rho_g \text{ kg/m}^3}}. \quad (5)$$

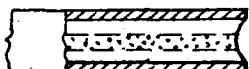
Elkülönülő fázisú áramlás



Réteges



Hullámos

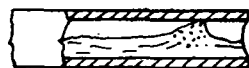


Körgyűrű keresztmetszetű

Változó fázisú áramlás



Dugós

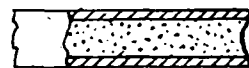


Pangó

Diszpergált fázisú áramlás



Buborékos



Ködszerű



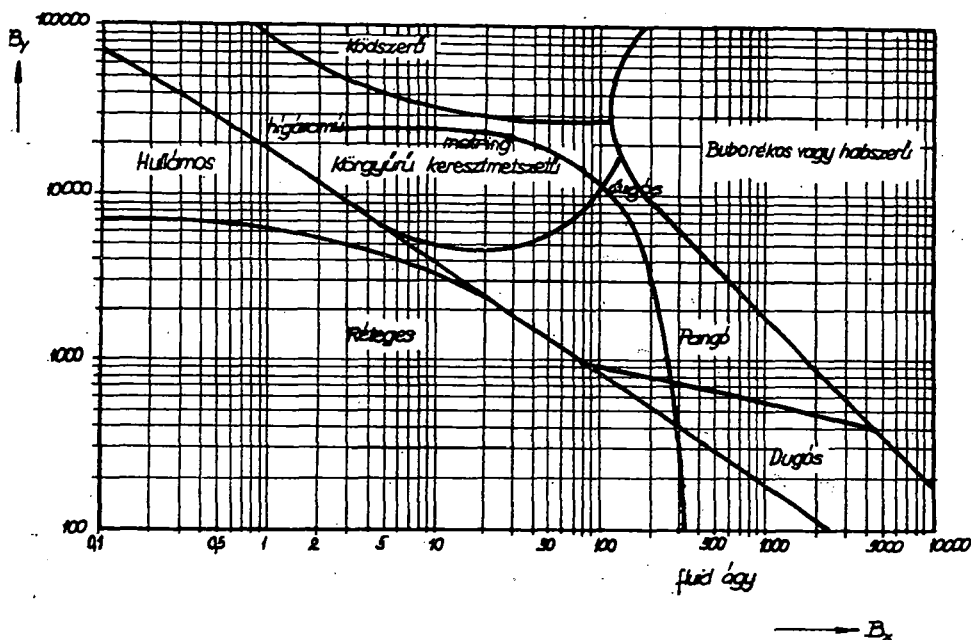
Habszerű
/függőleges
áramlásnál/

2. ábra. A kétfázisú áramlások típusai

Az eredeti egyenlet centipoise mértékegységben kívánja a folyadék dinamikai viszkozitását, a felületi feszültséget pedig din/cm mértékegységben.

B_x tényező értéke növekszik, ha az adagolási tömegviszony eltolódik a folyadék tömegáram javára, ha a gáz sűrűsége növekszik, ha a folyadék viszkozitása növekszik, vagy a felületi feszültsége csökken. Mint a 3. ábrán látható, az áramlás ilyenkor az elkülönülő típustól a diszpergált, illetve változó típus felé tolódik el.

B_y növekedése akkor következik be, ha a gáz tömegárama növekszik. Ilyenkor az áramlás típusa az egyenletesebb diszpergált állapot felé tolódik el.



3. ábra. A Baker-diagram

3. VIZSGÁLATAIM A BAKER-DIAGRAMMAL KAPCSOLATBAN

Az eredeti egyenletek vegyesen alkalmazzák a műszaki—technikai és a CGS mértékegységrendszerét, azonban átalakíthatók az MSZ 4900 szerinti SI mértékegységrendszerre, méghozzá igen csekély módosítással:

$$B_x = 210 \cdot \frac{\dot{m}_{f \text{ kg/s}}}{\dot{m}_{g \text{ kg/s}}} \cdot \frac{\sqrt{\rho_{f \text{ kg/m}^3} \cdot \rho_{g \text{ kg/m}^3}}}{\rho_{f \text{ kg/m}^3}^{2/3}} \cdot \frac{\eta_{f \text{ mPa}\cdot\text{s}}^{1/3}}{\sigma_{f \text{ mN/m}}}, \quad (4a)$$

$$B_y = 25\,200 \cdot \frac{\dot{m}_{g \text{ kg/s}}}{A_{m^2} \cdot \sqrt{\rho_{f \text{ kg/m}^3} \cdot \rho_{g \text{ kg/m}^3}}} \quad (5a)$$

a tömegáramot tehát kg/s-ben mérjük, a viszkozitást millipascal-szekundumban, a felületi feszültséget millinewton-per-méterben.

Szilárd szemcsés halmaz és légnemű közeg áramlása esetén különféle áramlási képek alakulhatnak ki. Az alábbi táblázatban összehasonlítom az irodalomban jól

1. TÁBLÁZAT

	Folyadék—gáz	Szilárd—gáz
Változó fázisú áramlások	dugós pangó	dugós szállítás csomagszállítás
Diszpergált fázisú áramlások	buborékos ködszerű habszerű	fluid hígáramú
Elkülönülő fázisú áramlások	réteges hullámos körgyűrű keresztmetszetű	léglazításos motringszállítás

kidolgozott folyadék—gáz áramlását a szilárd—gáz áramlás általam feltételezett típusával. Az elnevezéseket a pneumatikus szállítás terminológiájából kölcsönöztem.

A táblázat ellenőrzését számítással végeztem el. Fölvettem néhány pneumatikus (légáramú) szállítóberendezés adatait, és megvizsgáltam, a Baker-diagramnak melyik területére esik a kiszámított pont.

A szállított szilárd szemcsés anyagoknak sem viszkozitása, sem felületi feszültsége nincs. Azonban feltételezhető, hogy vannak olyan tulajdonságaik, amelyek a mozgás típusát befolyásolják. Vizsgáljuk meg elsőként a viszkozitást.

A viszkozitás jellemzi az áramló rétegek elcsúszása közben létrejövő csúszatőerő nagyságát. Ilyen erő szilárd szemcsés anyag halmazában is létrejön: ezt legjobban a μ_b belső súrlódási tényezővel fejezhetjük ki.

Növekvő viszkozitás hatására az áramlási kép a diszpergált fázis irányába tolódik el. Szemcsés anyagoknál a növekvő belső súrlódás összetartani igyekszik az anyagcsomókat, anyagfelhőket. Ezáltal a mozgás a változó, illetve elkülönülő fázis felé tolódik el. A belső súrlódási együtthatónak tehát a *nevezőbe* kell kerülnie.

Folyadékoknál a felületi feszültség jellemzi azt az erőt, amellyel a felület megbontható. Szemcsés anyagoknál a felület „leköti” vagy „elengedi” az anyagrészecskéket, és ezzel befolyásolja az áramlás típusát. Ilyen fizikai hatás az ε rugalmatlan ütközési együttható, hiszen rugalmas ütközésnél, $\varepsilon \approx 1$ esetén, az anyaghalmaz diszpergált fázisú marad, nem hajlamos lerakódásra; éppúgy, mint kis felületi feszültségeknél. Rugalmatlan ütközésnél, $\varepsilon < 1$ esetén, a szemcsék nem tudnak messzire visszapattanni, az ütközési felület közelében maradnak. Ez az elkülönülő fázisú áramlásnak kedvez, éppúgy, mint folyadékoknál a nagy felületi feszültség. Mindezek alapján az ε -nak nem a nevezőbe, hanem a számlálóba kell kerülnie.

A szemcsés anyagok számadatai miatt a Baker-paraméterek számkonstansait meg kell változtatnunk. Ezeket a számításokat *Hewlett—Packard* programozható kalkulátoron végeztem. A program lehetővé tette a tömegáram tetszés szerinti hatványozását is, végezetül azonban az eredeti +1 értékű hatványkitevő mellett döntöttem, mert így idomult legjobban a kapott adathalmaz az eredeti Baker-diagramhoz.

A pneumatikus szállítás típusát bűza esetén a 3. ábrán feltüntettem. Ezeket az eredményeket az alábbi képletek segítségével értem el:

$$B_X = 4,5 \cdot \frac{\dot{m}_s \text{ kg/s}}{\dot{m}_g \text{ kg/s}} \cdot \frac{\sqrt{\varrho_s \text{ kg/m}^3 \cdot \varrho_g \text{ kg/m}^3}}{\varrho_s^{2/3} \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{\varepsilon}{\mu_b}, \quad (4b)$$

$$B_Y = 36\,000 \cdot \frac{\dot{m}_g \text{ kg/s}}{A_{m2} \cdot \sqrt{\varrho_s \text{ kg/m}^3 \cdot \varrho_g \text{ kg/m}^3}}. \quad (5b)$$

Vizsgáljuk meg röviden motringszállítás esetére a Baker-diagramot! (Motring-szállításnál a szállítócső belsejében olyan fonatok, pászmák sodródnak a levegőben, amelyek keskenyebbek a csőátmérőnél.) Adatok:

$$\text{Adagolási tömegviszony } \mu = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_g} = 20$$

$$\text{A szállítógáz tömegárama } \dot{m}_g = 0,25 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{A szállítógáz sűrűsége } \rho_g = 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{A búzaszem sűrűsége } \rho_s = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{A búzaszem rugalmatlan ütközési együtthatója: } \varepsilon = 0,7$$

$$\text{A búza belső súrlódási együtthatója } \mu_b = 0,64$$

$$\text{A szállítócső keresztmetszete } A = 0,01 \text{ m}^2$$

$$B_x = 4,5 \cdot 20 \cdot \frac{\sqrt{1400 \cdot 1,205}}{1400^{2/3}} \cdot \frac{0,7}{0,64} = 32,3,$$

$$B_y = 36000 \cdot \frac{0,25}{0,01 \cdot \sqrt{1400 \cdot 1,205}} = 21\,912,15.$$

A kapott eredmény a körgyűrű keresztmetszetű áramlás zónájába esik, s ez megfelel a motringszállításról alkotott képnek. Növekvő adagolási tömegviszonynál pangó, vagy „buborékos” áramlás jön létre (dugós szállítás), csökkenő tömegviszonynál az áramlási kép nem változik jelentősen (a pont balra mozdul el). Ha most a szállítógáz és a szállított anyag tömegáramát egyaránt csökkentjük (a pont lefelé mozdul el), pangó, majd réteges áramlás jön létre: a szállított anyag lerakódik. A tömegáramok növelése esetén ködszerűvé válik az áramlás (higáramú szállítás), mert a motring terjeszkedve kitölti az egész szállítócsövet.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Megállapítható, hogy szemcsés szilárd anyag áramlása esetén a kétfázisú áramlások leírása céljából szerkesztett Baker-diagram érvényes és jól használható. Segítségével jól követhetők a pneumatikus szállítás üzemviszonyai.

További vizsgálódás tárgyát kell képeznie, hogy miképpen alkalmazható a Baker-diagram folyadék—folyadék, illetve folyadék—szilárd rendszerek leírására.

IRODALOM

1. *Mucskai L.*: Hőcserélők termikus és hidraulikai méretezése. Bp., Műszaki. 283 o. Baker-diagram 89. o. (1973)
2. *Kasturi—Stepanek—Holland*: A review of two-phase flow literature. = Brit. Chem. Engng. 415. sz. 333 o. 1971.
3. *De Gance—Atherton*: Chemical engineering aspects of two-phase flow. Chem. Engng. 6. sz. 135. o., 8. sz. 151. o., 10. sz. 113. o., 15. sz. 95. o., 17. sz. 119. o., 21. sz. 87. o., 24. sz. 101. o. (1970), 1971. 5. sz. 125. o.
4. *Griffith—Wallis*: Trans. ASME C 83. 307. o. 1961.

TYPES OF TWO—PHASE FLOWS IN THE CONVEYING OF SOLID GRANULAR MATERIALS

J. Zana

In its original form, the Baker diagram serves for the description of the flow conditions in two-phase, liquid — gas systems. A study was made of the possibility of employing the diagram to describe the flow of solid granular material and gas. Such conditions arise in pneumatic conveyance apparatuses. With the application of the Baker diagram, the operating conditions of pneumatic conveyance apparatuses can be examined more precisely.

DIE TYPEN DER BIPHASISCHEN STRÖMUNG BEIM TRANSPORT FESTER GRANULÄRER MATERIALE

J. Zana

Das BAKERsche Diagramm dient in seiner ursprünglichen Form zur Beschreibung der Strömungsverhältnisse in biphasischen Flüssigkeit—Gas-Systemen. Verfasser hat die Möglichkeit untersucht, das Diagramm auch zur Beschreibung der Strömung von fest—granulären Stoffen und Gas heranziehen zu können. Derartige Verhältnisse kommen in pneumatischen Transporteinrichtungen zustande. Die Benutzung des BAKERschen Diagramms gestattet eine präzisere Überprüfung der Betriebsverhältnisse der pneumatischen Beförderungseinrichtungen.

ТИПЫ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ТВЁРДЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ВЕЩЕСТВ

Я. Зана

Диаграмма Бекера в е исходной форме служит описанию потоковых параметров систем жидкость — газ. Автор изучал возможность применения этой диаграммы для описания потока гранулированных веществ и газа. Такие условия потока имеют место в пневматических транспортных установках. Применяя диаграмму Бекера, можно более детально изучить рабочий режим пневматических транспортных устройств.